

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA EN SISTEMAS DE MINI AERO
GENERACIÓN**

**AUTOR:
HUACA LARGO DANIEL HOMERO**

**TUTOR:
HERRERA HEREDIA JUAN CARLOS**

Quito, febrero de 2017

Daniel Homero Huaca Largo

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA EN SISTEMAS DE MINI AERO
GENERACIÓN**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2017

Ingeniería Eléctrica



Daniel Homero Huaca Largo: Realizo sus estudios secundarios en la Unidad Educativa “Jim Irwin”. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en Análisis de Estabilidad Transitoria en un Sistema Aislado con mini Aero Generadores.
dhuaca@est.ups.edu.ec



Juan Carlos Herrera Heredia: Ingeniero Eléctrico por la Escuela Politécnica Nacional de Quito; Magister en Gerencia Empresarial con especialización de Gestión de Proyectos por la Escuela Politécnica Nacional de Quito; Magister en Energías Renovables por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE de Quito. Sus campos de actividad profesional están orientados a la administración de mercados eléctricos, a la docencia y al diseño y operación de instalaciones con energía renovable e híbridas para la producción de calor y electricidad. jherrerah@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2017 Universidad Politécnica Salesiana

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Juan Carlos Herrera Heredia declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Análisis de Estabilidad Transitoria en Sistemas de Mini Aerogeneración* realizado por Daniel Homero Huaca Largo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2017



.....
Ing. Juan Carlos Herrera Heredia

Cédula de identidad: 1709364150

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Daniel Homero Huaca Largo, con documento de identificación N° 1722978424, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “Análisis de Estabilidad Transitoria en Sistemas de Mini Aero generación”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: Daniel Huaca

Cédula: 1722978424

Fecha: Quito, febrero de 2017

INDICE GENERAL

<i>Resumen</i>	1
<i>Abstract</i>	1
1. <i>Introducción</i>	2
2. <i>Planteamiento del Problema</i>	3
3. <i>Modelación</i>	3
3.1. <i>Modelo Generador Eólico</i>	4
3.2. <i>Modelo Generador Diésel</i>	5
4. <i>Desarrollo</i>	6
5. <i>Resultados</i>	7
5.1. <i>Discusión</i>	9
6. <i>Conclusiones</i>	10
7. <i>Referencias</i>	10
7.1. <i>Estado del Arte</i>	14

INDICE DE FIGURAS

Fig.1 Control PI, Aero Generador	5
Fig.2 Modelo de un Aero Generador conectado a una red	5
Fig.3 Modelo de un Generador Diésel conectado a una red	6
Fig. 4 Sistema hibrido aplicado a una red aislada	6
Fig. 5 Unifilar del SEP bajo estudio en Digsilent	7
Fig. 6. Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Eólico (p.u).....	7
Fig. 7. Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Eólico (p.u).	7
Fig. 8. Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Eólico (p.u).	7
Fig. 9 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Diésel (p.u).	7
Fig. 10 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Diésel (p.u).	7
Fig. 11 Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Diésel (p.u)	8
Fig. 12 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Carga (p.u)	8
Fig. 13 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Carga (p.u).	8
Fig. 14 Comparación Fallas, Frecuencia, Carga (p.u).	8
Fig. 15 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Eólico (p.u).....	8
Fig. 16 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Eólico (p.u).	8
Fig. 17. Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Eólico (p.u).	8
Fig. 18 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Diésel (p.u).	8
Fig. 19 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Diésel (p.u).	8
Fig. 20 Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Diésel (p.u)	8
Fig. 22 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Carga (p.u).	9
Fig. 23 Comparación Fallas, Frecuencia, Carga (p.u).	9
Fig. 24 (a) Recuperación del sistema del G. Diésel vs G. Eólico dependiendo su carga.	9
Fig. 24 (b) Recuperación del sistema del G. Eólico vs G. Diésel dependiendo su carga.	9
Fig. 25 (a) Respuesta en la carga, V (pu), ante una falla en un G Eólico.....	9
Fig. 25 (b) Respuesta en la carga I (pu), ante una falla en un G Eólico.	9
Fig. 26 Respuesta del torque eléctrico torque de excitación, Gen Eólico.	10

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Matriz estado del arte	14
Tabla 2 Resumen e indicadores del estado del arte.....	17
Tabla 3 Resumen para la formulación del problema.....	17
Tabla 4 Solución para el análisis del problema.	17

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA EN SISTEMAS DE MINI AERO GENERACIÓN

Resumen

En este documento se analizan las condiciones operativas de una micro red para el abastecimiento de la carga en un sistema aislado. La micro red bajo estudio se ha modelado conforme a la necesidad que tiene la carga, misma que está constituida por un grupo diésel más un generador eólico. Se pretende determinar los límites de estabilidad del sistema considerando el nivel de penetración de la energía renovable con respecto al tamaño del sistema. Las estrategias propuestas se sustentan en el análisis del comportamiento del sistema ante fallas del generador eólico usando el generador diésel como compensador en la demanda en una situación de emergencia. Se modelan las funciones de transferencia de ambos generadores y se analizan las fallas mediante un software especializado en análisis de transitorios, de esta manera el sistema podría mantener un estado de funcionamiento estable al operar en condiciones máximas del aerogenerador propuesto en este artículo.

Palabras Clave: Estabilidad transitoria, generación distribuida, red hibrida, variación de frecuencia.

Abstract

This document describe the operational conditions of red micro are analyzed for the supply of load in isolated system. The micro red under study has been modeled according to need that has load and is constituted by a group plus a wind generator. It seeks to determine the stability limits of the system considering levels of penetration renewable energy with respect to the size of system. The proposed strategies are based on analysis by behavior for system before failures caused by wind generator, using the generator as compensator in the demand in an emergency situation. The transfer functions both generators are modeled and faults are analyzed by means of specialized software in the analysis of transients, in this way the system could maintain a stable operating state in operating system under the maximum conditions of the aircraft generator proposed in this article.

Keywords: transient stability, distributed generation, hybrid network, frequency variation.

1. Introducción

Se debe considerar que la demanda de energía eléctrica está en constante crecimiento. La electricidad presenta flexibilidad para ser transmitida y su gestión en la red eléctrica está soportada por sistemas de control cada vez más sofisticados. En los últimos tiempos es normal el uso de nuevas tecnologías para producción de electricidad que incluso son amigables con el medio ambiente y sustentables en el tiempo[1], siendo la energía eólica una de las energías más prometedoras y rentables para la producción de electricidad, la adaptación de esta tecnología ha tenido un incremento del 30% en los últimos 10 años y se estima que en el 2020 podría cubrir el 12 % de producción de energía en el mundo[2][3]. Si la generación de recursos con energías renovables es impulsada por los gobiernos es probable que influya en el funcionamiento, tramite y planificación de energías dando sustituyendo energías que hoy en día afectan el ecosistema y el entorno del ser humano[4].

Ha sido usual que la energía eléctrica sea generada mediante procesos de transformación en distintas centrales de generación que ocupan turbinas como hidráulicas, de vapor, gas, sistemas de combustión interna, etc., es decir mediante tecnologías tradicionales que usualmente se encuentran alejados de las zonas de consumo. Sin embargo, actualmente se disponen de sistemas eólicos, solares, fotovoltaicos, biomasa y otros, que emplean recursos primarios de energía renovable siendo los sistemas eólicos entre aquellos que ocasionan el menor impacto ambiental. Estos sistemas principalmente tienden a funcionar conectados en paralelo con la red de distribución o transmisión[5][6]. En este tipo de configuraciones, la

estabilidad del sistema está sustentada en gran medida por la inercia del sistema eléctrico de potencia y su respuesta ante variaciones de carga o generación.

Sin embargo, en sitios alejados de los sistemas de transmisión y distribución es frecuente encontrar micro redes que emplean para su abastecimiento y consumo unos pequeños grupos de generación, que usualmente funcionan a base de motores por combustión interna[7]. Actualmente, estos sistemas tienen también el aporte de generadores renovables que operan en paralelo con los generadores de combustión interna para abastecer la demanda. A diferencia de los sistemas renovables conectados a la red eléctrica, en una micro red aislada como la descrita suelen presentarse problemas de estabilidad debido a la fluctuación de la energía primaria del generador renovable[8].

En estos casos se controlan directamente los parámetros del generador para que el sistema trabaje en forma estable, esto implica que la velocidad mecánica determina la frecuencia, como la tensión presente en el rotor establecerá los medios necesarios para que el sistema permanezca en condiciones normales para satisfacer los requerimientos de potencia de la carga[9].

En condiciones normales de operación, existe un generador de referencia que permite que el sistema trabaje en forma estable, esto implica establecer la tensión del estator, la frecuencia y por medio del voltaje del rotor, el factor de potencia por medio de la compensación de potencia reactiva[10].

En el presente trabajo se analiza el uso de la tecnología tradicional y renovable funcionando en forma conjunta para alimentar a cargas aisladas de la red eléctrica, específicamente un mini-generador eólico y un grupo diésel, el

cual permitirá cubrir las variaciones de producción de la instalación eólica debido a la aleatoriedad del recurso primario viento.

Por medio de simulaciones es posible predecir el comportamiento físico del sistema, lo cual posibilita realizar varios análisis incluyendo parámetros críticos de estabilidad, dimensionamiento del sistema, entre otros[11].

2. Planteamiento del Problema

En el presente trabajo se analiza la operación de un micro red alimentada eléctricamente que contiene tecnología tradicional (generador diésel), adicional energía renovable (generador eólico) funcionando en forma conjunta para alimentar a la carga. Debido a la aleatoriedad del recurso eólico y las características constructivas de los mini generadores eólicos, es de esperarse que la respuesta entregada del sistema ante condiciones de falla sea distinta y aquella en la cual el abastecimiento de la carga se realiza por medio de tecnologías tradicionales.

En estos casos le correspondería al generador convencional (grupo diésel usualmente) operar de tal manera que el sistema trabaje en forma estable. Esta operación está ligada a su velocidad mecánica, a su respuesta de frecuencia ante variaciones de carga, tensión y sobre todo al porcentaje de participación de cada tecnología en el abastecimiento de potencia de la carga.

Se establece como hipótesis de que por medio de simulaciones es posible predecir el comportamiento físico del sistema, lo cual posibilita realizar varios análisis incluyendo parámetros críticos donde actúa la estabilidad de la máquina con un dimensionamiento de sistema entre otros[12].

Se realizarán simulaciones en diferentes condiciones operativas y se analizará la

estabilidad por medio de un software especializado. Se identificarán los comportamientos de las diferentes variables eléctricas: frecuencia, voltaje, potencia, y tiempos de respuesta con el fin de caracterizar el comportamiento de la micro red bajo diversas condiciones de falla y el tiempo de respuesta de la máquina, por lo que se realizarán simulaciones hasta determinar los límites bajo los cuales se soporta la operación de la red en condiciones de garantía de abastecimiento de energía al usuario[13][14].

3. Modelación

El sistema que se analizará es una red híbrida, la cual dispone de dos generadores con características distintas, un generador representa una máquina que compensa su esfuerzo físico respecto a una carga, la máquina debe satisfacer condiciones normales y extremas en corto tiempo[15], cada condición que pueda suceder el sistema debe recuperarse en el menor tiempo posible para ello la parte mecánica y eléctrica actúan de la mano. Los datos del fabricante indican las características sobresalientes de la máquina y se aplica énfasis al generador eólico, que está construido por un núcleo por imanes permanentes y que tienen la propiedad de tener el rotor en la turbina y estar acopladas de forma simultánea al generador[16].

La simulación se realizará en Digsilent, programa en el cual puede determinar la operación de cada elemento eléctrico y proporciona una manera precisa para analizar resultados. Se analizarán comportamientos en el rotor, torque eléctrico, potencia activa, frecuencia que indicara el tiempo de respuesta de la máquina ante la presencia de fallas de diversa índole considerando escenarios

de aporte de cada generador a la micro red antes de la ocurrencia de las fallas.

3.1. Modelo Generador Eólico

El modelo del generador eólico se basa principalmente en un generador síncrono donde el rotor gira a velocidad síncrona de acuerdo a la frecuencia de la red y está constituido de imanes permanentes con una caja de cambios o un convertidor de potencia diseñado para amortiguar la respuesta del generador ante cambios drásticos en el sistema al momento de ocurrir una falla o desbalance[19], a pesar que es una simulación un sistema como este debe tener un estudio normalizado de puesta tierra ya que esta mantiene la resistencia de corriente y reduce la impedancia transitoria durante una sobre tensión, como también reduce el riesgo del personal operativo. Los receptores, palas y torre generalmente tienen un conductor el cual está conectado a tierra[20]. La máquina tiene regiones de operación las cuales son la zona de inicio o arranque, zona de pista de viento y zona de velocidad constante. Al momento de arranque o cuando el viento tiene comportamiento no laminar el generador opera con los ejes de baja velocidad controlando la relación de la velocidad de punta y el ángulo de paso[21][22].

El ángulo de control de un generador pequeño suele expresarse como $\sin \alpha_g \approx \alpha_g$ y $\cos \alpha_g \approx 1$, donde α_g es la diferencia de fase entre los voltajes E_g y V_t estas fórmulas aplicadas en ecuaciones de potencia presentan la siguiente manera:

$$P = \frac{E_g V_t}{X_g} \alpha_g \quad (1)$$

E_g representa a la magnitud del voltaje interno del generador, X_g la reactancia síncrona y V_t la magnitud (voltaje) en el terminal del convertidor, como se puede ver la transferencia de la potencia activa depende del ángulo fase α_g y la potencia reactiva depende de las magnitudes de voltaje y son transmitidas desde el punto más alto al bajo, la operación del generador y la potencia transferida al generador a DC son controladas ajustando la magnitud y el ángulo de voltaje a los terminales AC, la magnitud V_t y el ángulo α_g requieren que el terminal del lado generador sea calculado con la siguiente ecuación:

$$\alpha_g = \frac{P_{gref} X_g}{E_g V_1} \quad (2)$$

$$V_t = E_g - \frac{Q_{gref} X_g}{E_g} \quad (3)$$

Donde P_{gref} es el valor de referencia de la potencia activa que necesita para transferir al generador DC y Q_{gref} el valor de la potencia reactiva, el ángulo de control es simplificado por la dinámica del generador durante una operación en condición transiente[23], para el control vector \bar{i}_{dsref} se establece en cero y \bar{i}_{qsref} es derivado con $\bar{i}_{ds} = 0$ se puede obtener lo siguiente:

$$Te = \bar{\Psi}_{ds} \bar{i}_{ds} \quad (4)$$

$$\bar{\Psi}_{ds} = \bar{L}_{md} \bar{i}_f \quad (5)$$

Definiendo $\bar{L}_{md} \bar{i}_f = \bar{\Psi}_{fd}$ y reemplazando $\bar{\Psi}_{ds}$ en las anteriores ecuaciones se obtiene:

$$Te = \bar{\Psi}_{fd} \bar{i}_{qs} \quad (6)$$

Para la ecuación anterior se da un torque de referencia \bar{T}_{sp} :

$$\bar{i}_{dsref} = \frac{\bar{T}_{sp}}{\bar{\psi}_{fd}} \quad (7)$$

Una de la referencia en la corriente \bar{i}_{qsref} y \bar{i}_{dsref} son definidas por un controlador, que corresponde a las magnitudes de voltaje que se presentan a continuación:

$$\bar{v}_{ds} = -\bar{r}_s \bar{i}_{ds} + \bar{X}_{qs} \bar{i}_{qs} \quad (8)$$

$$\bar{v}_{qs} = -\bar{r}_s \bar{i}_{qs} + \bar{X}_{ds} \bar{i}_{ds} + \bar{E}_{fd} \quad (9)$$

Un controlador PI es usado para controlar el error entre la referencia y el valor actual de la corriente relacionados con \bar{r}_s , la corriente de referencia \bar{i}_{dsref} se mantiene en cero cuando el generador opera entre la velocidad base y si el valor negativo del enlace de flujo opera la corriente determina la ecuación de

torque[24], la implementación de la técnica de control se expresa así:

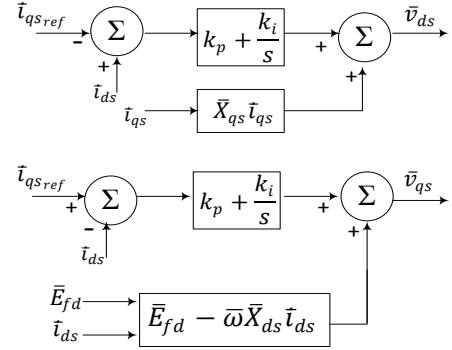


Fig.1 Control PI, Aero Generador

Acoplando cada una de las funciones de transferencia al sistema se obtiene el siguiente esquema:

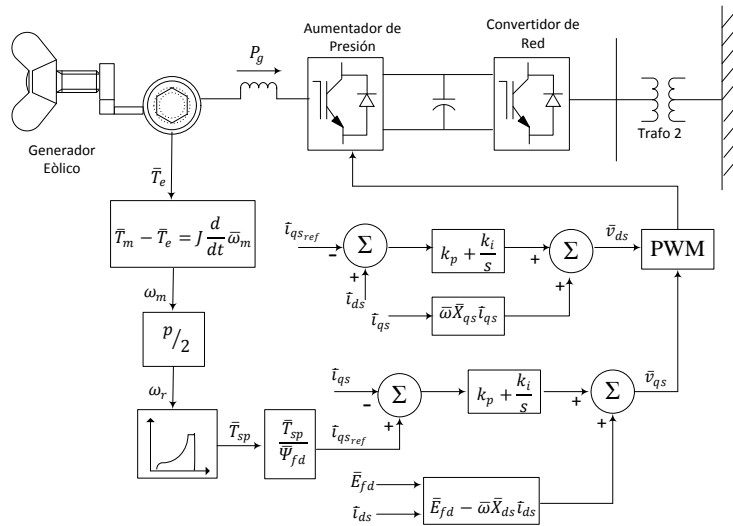


Fig.2 Modelo de un Aero Generador conectado a una red

3.2. Modelo Generador Diésel

Un generador a diésel tiene un sistema de excitación y la respuesta dinámica de potencia del generador tiene relación directa con éste; la regulación de velocidad y la respuesta del motor determina potencia mecánica la cual dependerá de la carga que necesite el

sistema. Las secciones principales son: generador, sistema de excitación, sistema de velocidad, motor de inducción. Si la potencia mecánica de la maquina se mantiene constante y se varia el consumo de potencia eléctrica, la diferencia es compensada por las partes que rotan en el generador, variando su energía cinética.

El modelo presentado es representado por dos devanados del amortiguador en el rotor, un eje directo que se encuentra en la parte central de la máquina y el eje de cuadratura que regula la velocidad junto con el control de frecuencia es posible con una válvula de control representados en funciones de transferencia mostrados en la Figura 3, a continuación se representan las funciones de transferencia de las partes del generador [25][26]:

$$\text{Generador} \quad \frac{K_G}{T_G s + 1} \quad (10)$$

$$\text{Sistema de excitación} \quad \frac{K_T}{T_T s + 1} \quad (11)$$

$$\text{Sistema de velocidad} \quad \frac{K_{G0}}{T_{G0} s + 1} \quad (12)$$

$$\text{Motor} \quad \frac{K_R T_R s + 1}{T_{G0} s + 1} \quad (13)$$

Expresados en el siguiente sistema:

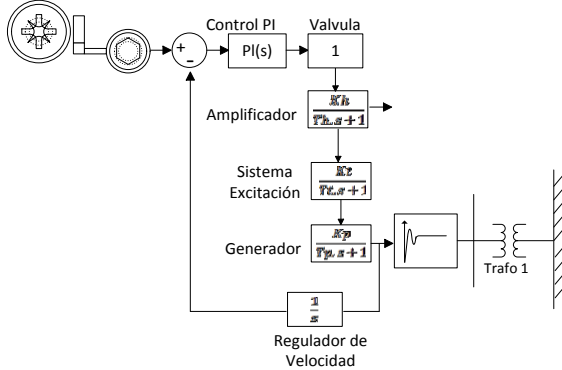


Fig.3 Modelo de un Generador Diésel conectado a una red

4. Desarrollo

Con el propósito de analizar el comportamiento de la mini red se ha implementado el modelo mostrado en la Figura 4 y que contiene un generador

eólico y un grupo diésel que alimentan una carga, principalmente resistiva como se muestra a continuación.

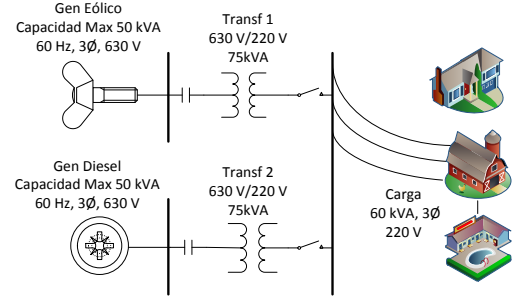


Fig. 4 Sistema híbrido aplicado a una red aislada

Cada generador está conectado por medio de un transformador a la barra de bajo voltaje para satisfacer a la carga, que tiene una potencia de 60 kVA. Cada generador por sí solo no puede satisfacer por completo a la carga debido a que puede entregar hasta 50 kVA. Se provocarán tres tipos de fallas cuando cada uno de los generadores esté aportando 30 kVA, la falla se realiza en el punto más crítico y se verificará la estabilidad del sistema con el transcurso del tiempo. Se verifican las condiciones por las cuales el sistema permanece estable por si solo y cuando este pierde estabilidad, siendo necesaria una salida forzada para realizar operaciones de mantenimiento.

Se analiza la estabilidad del sistema en función a la carga que está entregando cada generador y del tiempo en que la falla se recupera o actúa la protección. Para las simulaciones se programó fallas trifásicas, bifásicas y monofásicas cada 1 y 6 segundos como se muestra a continuación:

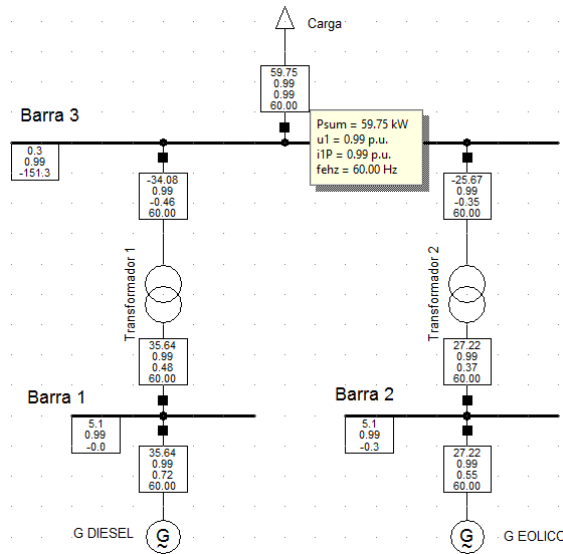


Fig. 5 Unifilar del SEP bajo estudio en Digsilent

Con el fin de analizar los distintos comportamientos del sistema se varían los niveles de aporte de cada generador para alimentar a la carga conforme a los siguientes casos:

El generador eólico deseando aportar más potencia soporta hasta las siguientes cargas:

- Falla monofásica en Gen1: 40 kW, Gen 2: 20 kW, tiempo 2 s.
- Falla bifásica en Gen1: 45 kW, Gen 2: 15 kW, tiempo 2 s.
- Falla trifásica en Gen1: 48 kW, Gen 2: 12 kW, tiempo 2 s.

El generador a diésel deseando aportar más potencia soporta hasta las siguientes cargas:

- Falla monofásica en Gen1: 31 kW, Gen 2: 29 kW, tiempo 2 s.
- Falla bifásica en Gen1: 32 kW, Gen 2: 28 kW, tiempo 2 s.
- Falla trifásica en Gen1: 38 kW, Gen 2: 22 kW, tiempo 2 s.

5. Resultados

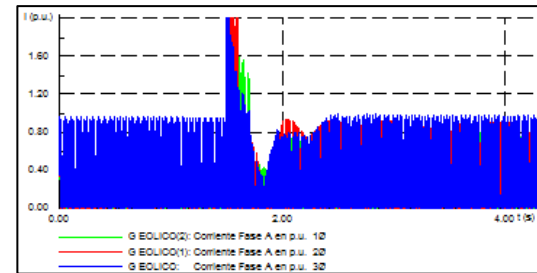


Fig. 6. Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Eólico (p.u).

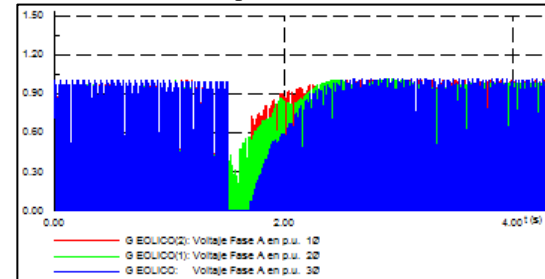


Fig. 7. Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Eólico (p.u).

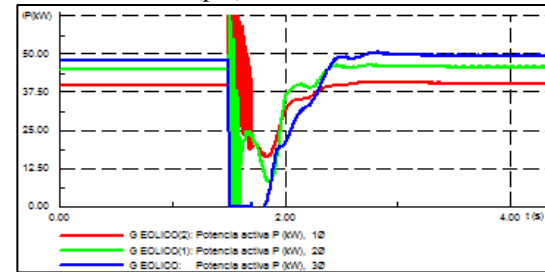


Fig. 8. Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Eólico (p.u).

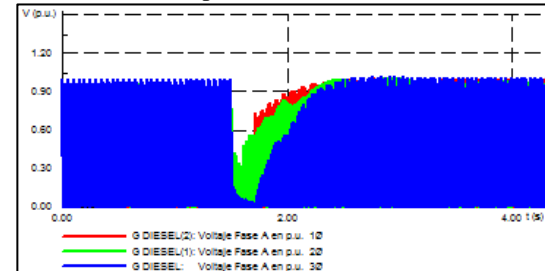


Fig. 9 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Diésel (p.u).

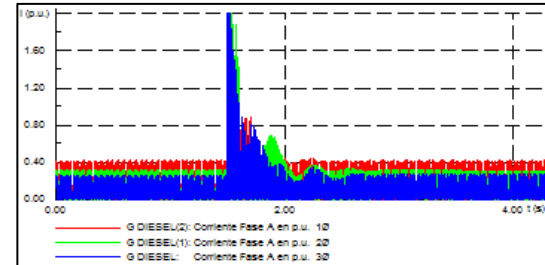


Fig. 10 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Diésel (p.u).

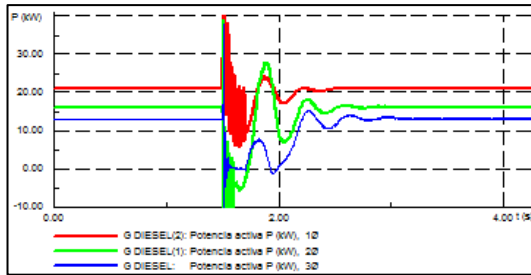


Fig. 11 Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Diésel (p.u)

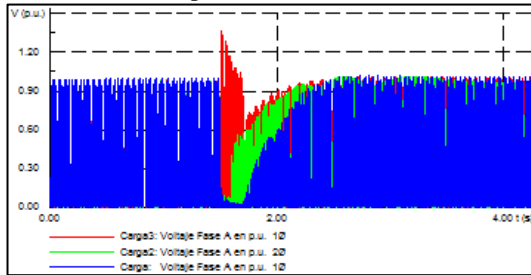


Fig. 12 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Carga (p.u)

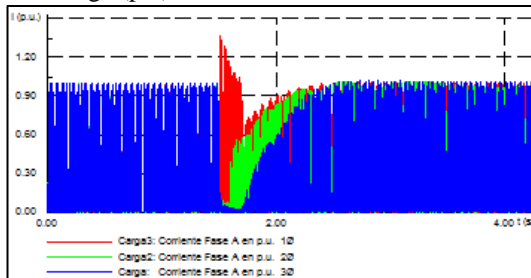


Fig. 13 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Carga (p.u).

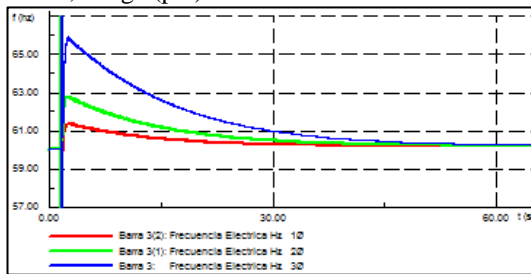


Fig. 14 Comparación Fallas, Frecuencia, Carga (p.u).

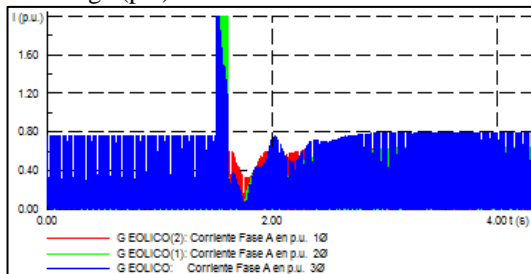


Fig. 15 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Eólico (p.u).

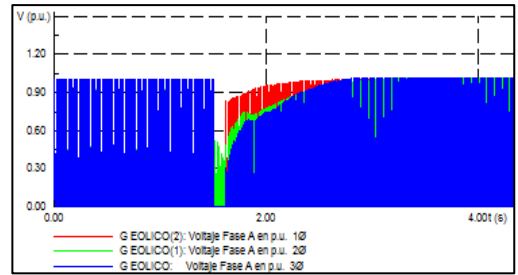


Fig. 16 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Eólico (p.u).

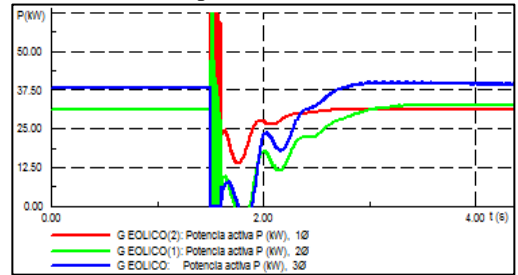


Fig. 17. Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Eólico (p.u).

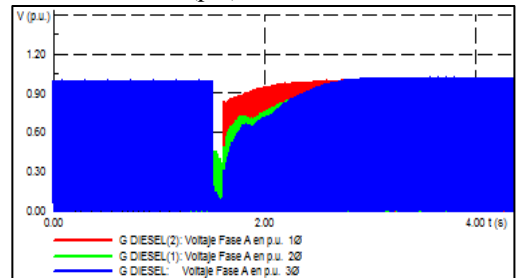


Fig. 18 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Gen. Diésel (p.u).

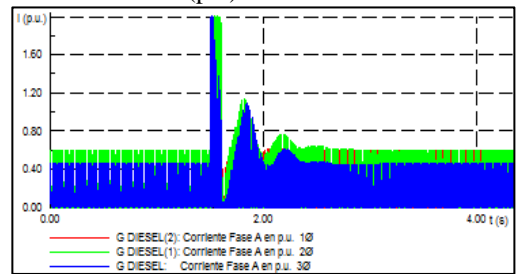


Fig. 19 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Gen. Diésel (p.u).

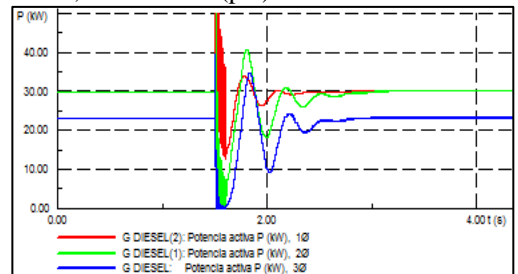


Fig. 20 Comparación Fallas, Pot. Activa, Gen. Diésel (p.u)

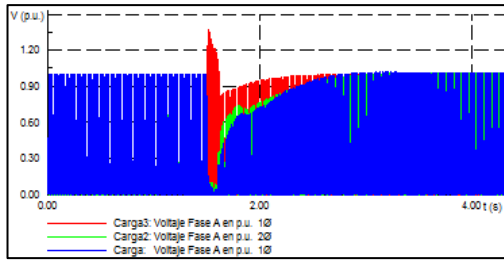


Fig. 21 Comparación Fallas, Voltaje Fase A, Carga (p.u).

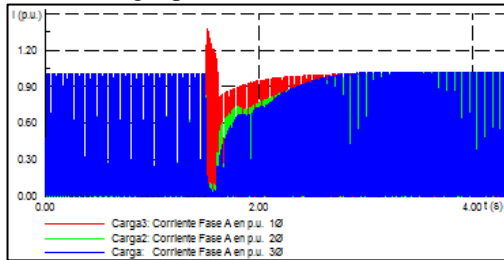


Fig. 22 Comparación Fallas, Corriente Fase A, Carga (p.u).

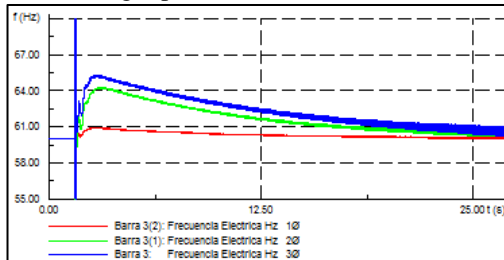


Fig. 23 Comparación Fallas, Frecuencia, Carga (p.u).

5.1. Discusión

En las tres simulaciones se programó una producción distinta en cada generador y una falla con duración de 2 segundos. Los gráficos indican que el sistema se estabiliza, recuperándose la frecuencia a los 65s en una falla trifásica, en la falla bifásica 52s, mientras que en una monofásica 30s, cuando el Generador Eólico asume más carga dentro del sistema funcionando. Este comportamiento se explica debido a que cuando se trata de una línea, el otro generador la compensa en la potencia, en la barra las otras dos líneas hacen posible que el sistema no obtenga pérdidas graves de potencia tal como se observa en la figura:

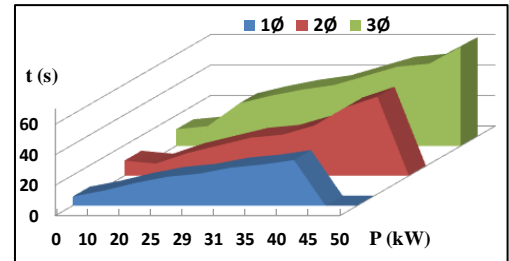


Fig. 24 (a) Recuperación del sistema del G. Diésel vs G. Eólico dependiendo su carga.

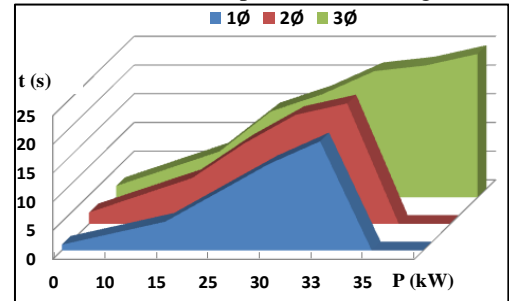


Fig. 24 (b) Recuperación del sistema del G. Eólico vs G. Diésel dependiendo su carga.

En las figuras a continuación se exponen resultados que muestran niveles de 1pu cuando los dos generadores aportan cargas iguales al sistema, y rango entre 0.5p.u a 0,63p.u cuando el generador eólico aporta de 0 a 20 kW y 35 a 50 kW, respectivamente.

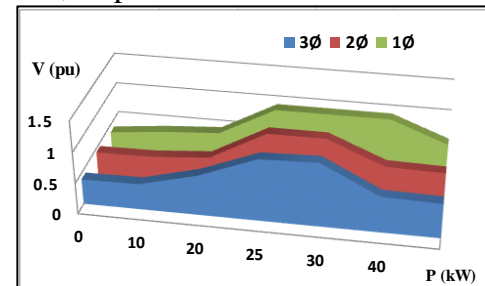


Fig. 25 (a) Respuesta en la carga, V (pu), ante una falla en un G Eólico.

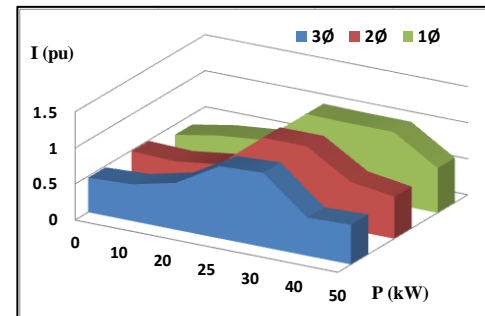


Fig. 25 (b) Respuesta en la carga I (pu), ante una falla en un G Eólico.

A momento de ocurrir una falla mientras el generador eólico aporte más carga, se necesita que el tipo de falla no sea de gran magnitud como una falla trifásica, de lo contrario se presentará inestabilidad y disparo del circuito

El tiempo de falla antes de que sea despejada en un sistema híbrido es importante, el torque eléctrico en una falla corta tiende a recuperarse sin oscilar en el sistema, cuando una falla es de mayor tiempo tiende a amortiguar la potencia de salida, esto se puede ver en la siguiente figura donde se simuló una falla bifásica con tiempos de 1 y 6 segundos. En el tiempo más corto el torque apenas logra alcanzar 0 p.u, mientras que en una falla de mayor alcance el torque llega a niveles negativos por debajo del rango, al momento de recuperarse emplea una fuerza negativa en un tiempo corto hasta llegar a niveles normales de operación

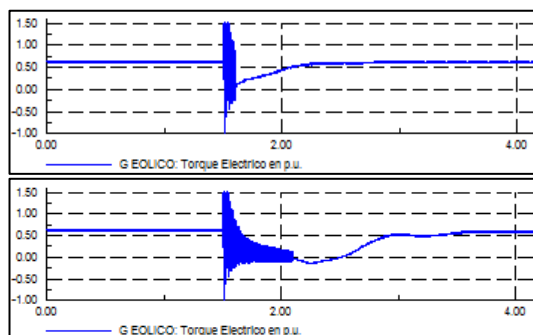


Fig. 26 Respuesta del torque eléctrico torque de excitación, Gen Eólico.

6. Conclusiones

El tiempo de estabilidad es más prolongado mientras el generador diésel opera a mayor potencia. La frecuencia al momento de suceder una falla en cargas mayores así sean equivalentes tiende a estabilizarse tres veces más que en cargas pequeñas.

Sin embargo para cargas pequeñas el sistema soporta hasta un 70% de disparo

de potencia antes de desestabilizarse. Si las cargas son grandes el sistema se desestabiliza con un 50% de potencia disparada o en falla. Si la contingencia o falla demora hasta 1 segundo antes de ser despejada en mínimas cargas no se advierten implicaciones sobre la estabilidad de sistema ya que el sistema se recupera en tiempos cortos.

En este artículo se ha estudiado el comportamiento transitorio de un sistema eléctrico con el fin de cuantificar el impacto que podrían producir las fallas sobre el abastecimiento de energía y la estabilidad de servicio, dependiendo de la magnitud de la producción comprometida en la falla y su tiempo de duración. El análisis ha permitido determinar una metodología que se puede aplicar al estudio de sistemas híbridos similares.

7. Referencias

- [1] J. A. Baroudi, V. Dinavahi, and A. M. Knight, "A review of power converter topologies for wind generators," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 14, pp. 2369–2385, 2007.
- [2] S. Li, T. A. Haskew, and J. Jackson, "Integrated power characteristic study of DFIG and its frequency converter in wind power generation," *Renew. Energy*, vol. 35, no. 1, pp. 42–51, 2010.
- [3] J. X. Ostolaza, A. Etxeberria, and I. Zubia, "Wind farm node connected DFIG/back-to-back converter coupling transient model for grid integration studies," *Energy Convers. Manag.*, vol. 106, pp. 428–439,

- 2015.
- [4] W. Yingying, L. I. Qing, and Q. I. N. Shiyao, "A New Method of Wind Turbines Modeling Based on Combined Simulation," no. Powercon, pp. 20–22, 2014.
 - [5] S. Ahsan and S. Khan, "Reactive power compensation for integration of wind power in a distribution network," *2012 IEEE 5th India Int. Conf. Power Electron.*, pp. 1–4, 2012.
 - [6] A. Mehdi, H. Medouce, S. E. Rezgui, A. Boulahia, F. Mehazzem, and H. Benalla, "PWM converters and its application to the wind-energy generation," *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 523–529, 2013.
 - [7] T. Chang, M. Ieee, F. Katiraei, and S. M. Ieee, "Modeling and Analysis of Synchronous Generator Based Distributed Energy Resources for Dynamic Impact Studies Prime Mover," *Control*, pp. 1–6, 2011.
 - [8] E. N. Chaves, E. A. A. Coelho, H. T. M. Carvalho, L. C. G. Freitas, J. B. V Júnior, and L. C. Freitas, "Design of an Internal Model Control strategy for single-phase grid-connected PWM inverters and its performance analysis with a non-linear local load and weak grid," *ISA Trans.*, pp. 1–11, 2016.
 - [9] S. Tunyasrirut and C. Charumit, "Grid connected based PWM converter applied a self-excited induction generator for wind turbine applications," *Energy Procedia*, vol. 56, no. C, pp. 342–351, 2014.
 - [10] R. S. Muñoz-Aguilar, A. Dòria-Cerezo, and E. Fossas, "Extended SMC for a stand-alone wound rotor synchronous generator," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 84, pp. 25–33, 2017.
 - [11] A. Wickramasinghe, S. Perera, A. P. Agalgaonkar, and L. Meegahapola, "Synchronous mode operation of DFIG based wind turbines for improvement of power system inertia," *Renew. Energy*, vol. 95, pp. 152–161, 2016.
 - [12] S. Swain and P. K. Ray, "Short circuit fault analysis in a grid connected DFIG based wind energy system with active crowbar protection circuit for ride-through capability and power quality improvement," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 84, pp. 64–75, 2017.
 - [13] K. Raja and N. Theivarajan, "Emergency power supply system of a Nuclear Power Plant-modelling and simulation studies of Diesel generators and load pickup on emergency transfer," *2011 1st Int. Conf. Electr. Energy Syst. ICEES 2011*, pp. 302–307, 2011.

- [14] J. Potgieter and M. Kamper, "Modelling and Stability Analysis of a Direct-Drive-Direct-Grid Slip-Synchronous Permanent Magnet Wind Generator," no. c, pp. 1–10, 2013.
- [15] A. Aziz, A. MTO, and A. Stojcevski, "Full converter based wind turbine generator system generic modelling: Variations and applicability," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 14, pp. 46–62, 2016.
- [16] N. D. Caliao, "Dynamic modelling and control of fully rated converter wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 2287–2297, 2011.
- [17] A. H. Kasem Alaboudy, A. A. Daoud, S. S. Desouky, and A. A. Salem, "Converter controls and flicker study of PMSG-based grid connected wind turbines," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 75–91, 2013.
- [18] T. Ghennam, K. Aliouane, F. Akel, B. Francois, and E. M. Berkouk, "Advanced control system of DFIG based wind generators for reactive power production and integration in a wind farm dispatching," *Energy Convers. Manag.*, vol. 105, pp. 240–250, 2015.
- [19] K. Patil, "Modeling and Control of Variable Speed Wind Turbine with Permanent Magnet Synchronous Generator," no. December, pp. 258–264, 2014.
- [20] N. Malcolm and R. Aggarwal, "Analysis of transient overvoltage phenomena due to direct lightning strikes on wind turbine blade," *IEEE PES Gen. Meet. / Conf. Expo.*, pp. 1–5, 2014.
- [21] A. Ct, "Empirical Analysis on Model and Parameters of Grid-Connected Directdriven Wind Turbine Generators in Transient Stability Computation," no. Ciced, pp. 23–26, 2014.
- [22] H. Li and Z. Chen, "Transient stability analysis of wind turbines with induction generators considering blades and shaft flexibility," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, pp. 1604–1609, 2007.
- [23] S. A. Jeddi, S. Hamidreza Abbasi, and F. Shabaninia, "Load frequency control of two area interconnected power system (Diesel Generator and Solar PV) with PI and FGSPi controller," *AISP 2012 - 16th CSI Int. Symp. Artif. Intell. Signal Process.*, no. Aisp, pp. 526–531, 2012.
- [24] A. Mohanty, M. Viswavandya, D. Mishra, P. K. Ray, S. Patra, and M. Sthitapragyan, "An optimized STATCOM controller for voltage stability and reactive power compensation in an isolated micro grid," *2015 IEEE Power, Commun. Inf. Technol. Conf.*

PCITC 2015 - Proc., pp. 884–888, 2016.

- [25] A. Moghadasi, A. Sarwat, and J. M. Guerrero, “A comprehensive review of low-voltage-ride-through methods for fixed-speed wind power generators,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 823–839, 2016.

- [26] C. Mehdipour, A. Hajizadeh, and I. Mehdipour, “Dynamic modeling and control of DFIG-based wind turbines under balanced network conditions,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 83, pp. 560–569, 2016.

7.1. Estado del Arte

Tabla 1 Matriz estado del arte.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA EN SISTEMAS DE MINI AERO GENERACIÓN																												
ITEM	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Generación Tradicional	Generación distribuida	Modelación del Sistema	Fiabilidad de Energía	Mercado	Gestión de la Demanda	Micro redes (sistemas aislados)	Capacidad de Generación	Estabilidad Transitoria	Ingreso de generación distribuida	Fallas en el Sistema	Frecuencia Estable	Incertidumbre	Capacidad de Generación	Crecimiento de la demanda	igsilent	Simulación de Fallas	Matlab	Sistema Híbrido	Costos	Análisis de estabilidad	Mantenimiento	Ubicación de Fallas	Capacidad de Generación	
1	2007	A review of power converter topologies for wind generators	\cite{Baroudi2007}	✖	□	□	□	□	✖	□	✖	✖	✖	□	✖	□	✖	✖	□	□	✖	□	□	□	✖	□	□	✖
2	2010	Integrated power characteristic study of DFIG and its frequency converter in wind power generation	\cite{Li2010}	□	✖	✖	□	□	✖	✖	□	✖	□	✖	□	□	✖	□	□	□	✖	□	□	□	□	□	✖	□
3	2015	Wind farm node connected DFIG/back-to-back converter coupling transient model for grid integration studies	\cite{Ostolaza2015}	□	□	✖	□	✖	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□	□	✖	□	✖	□	✖	□	□	□
4	2014	A New Method of Wind Turbines Modeling Based on Combined Simulation	\cite{Yingying2014}	□	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	✖	□	□	□	✖	□	✖	□	✖	□	□	✖	□	□	□	□
5	2012	Reactive power compensation for integration of wind power in a distribution network	\cite{Ahsan-Khan2012}	✖	✖	✖	□	□	□	□	✖	✖	□	□	✖	□	✖	□	□	□	✖	□	✖	□	✖	□	✖	✖
6	2013	PWM converters and its application to the wind-energy generation	\cite{Mehdi2013}	□	□	✖	□	□	✖	✖	□	✖	□	✖	□	✖	□	✖	✖	□	✖	□	□	□	□	□	□	□
7	2011	Modeling and Analysis of Synchronous Generator Based Distributed Energy Resources for Dynamic Impact Studies Prime Mover	\cite{Chang2011}	□	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	✖	□	□	□	✖	□	□	□	✖	□	✖	□	✖	□	□	□
8	2016	Design of an Internal Model Control strategy for single-phase grid-connected PWM inverters and its performance analysis with a non-linear local load and weak grid	\cite{Chaves2016}	□	✖	✖	□	□	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	✖	□

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA EN SISTEMAS DE MINI AERO GENERACIÓN

	DATOS		TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA							
ITEM	AÑO	TITULO DEL ARTICULO	REFERENCIA	Generación Tradicional	Generación distribuida	Modelacion del Sistema	Fiabilidad de Energia	Mercado	Gestion de la Demanda	Micro redes (sistemas aislados)	Capacidad de Generacion	Estabilidad Transitoria	Ingreso de generación distribuida	Fallas en el Sistema	Frecuencia Estable	Incertidumbre	Capacidad de Generacion	Crecimiento de la demanda	Digsilent	Simulacion de Fallas	Matlab	Sistema Híbrido	Costos	Analisis de estabilidad	Mantenimiento	Ubicación de Fallas	Capacidad de Generacion
9	2014	Grid connected based PWM converter applied a self-excited induction generator for wind turbine applications	\cite{Tunyasrirut-Charumit2014}	✖	✖	✖	□	□	✖	✖	□	✖	□	□	✖	□	✖	□	✖	✖	□	□	✖	□	□	□	□
10	2016	Extended SMC for a stand-alone wound rotor synchronous generator	\cite{Muñoz-Aguilar2016}	□	✖	✖	□	✖	□	□	□	✖	□	□	□	□	✖	✖	□	✖	✖	□	□	✖	□	✖	□
11	2016	Synchronous mode operation of DFIG based wind turbines for improvement of power system inertia	\cite{Wickramasinghe2016}	□	□	✖	□	□	✖	✖	✖	✖	□	□	✖	✖	✖	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	✖
12	2016	Short circuit fault analysis in a grid connected DFIG based wind energy system with active crowbar protection circuit for ride through capability and power quality improvement	\cite{Swain2016}	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□	✖	□	□	✖	✖	□	□	✖
13	2011	Emergency power supply system of a Nuclear Power Plant-modelling and simulation studies of Diesel generator and load pickup on emergency transfer	\cite{Raja2011}	□	□	□	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□	□	□	□	✖	✖	□	□	□	□	✖	□
14	2013	Modelling and Stability Analysis of a Direct-Drive-Direct-Grid Slip-Synchronous Permanent Magnet Wind Generator	\cite{Potgieter2013}	✖	✖	□	□	□	□	□	✖	□	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	□	✖
15	2016	Full converter based wind turbine generator system generic modelling: Variations and applicability	\cite{Aziz2016}	□	□	✖	□	□	✖	✖	✖	✖	□	✖	✖	□	□	□	✖	✖	□	□	□	□	✖	□	✖
16	2011	Dynamic modelling and control of fully rated converter wind turbines	\cite{Caliao2011}	□	□	✖	✖	□	□	✖	✖	✖	□	✖	✖	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖
17	2013	Converter controls and flicker study of PMSG-based grid connected wind turbines	\cite{Kasem2013}	□	□	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	□	□	□	□	□	✖	✖	□	□	✖	✖	□
18	2015	Advanced control system of DFIG based wind generators for reactive power production and integration in a wind farm dispatching	\cite{Ghennam2015}	□	✖	✖	□	□	✖	□	✖	✖	✖	✖	□	✖	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✖	✖
19	2014	Modeling and Control of Variable Speed Wind Turbine with Permanent Magnet Synchronous Generator	\cite{Patil2014}	□	✖	✖	□	□	✖	□	□	✖	□	✖	✖	✖	□	□	✖	✖	□	□	✖	✖	□	□	□

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA EN SISTEMAS DE MINI AERO GENERACIÓN

DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIÓNES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA						
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Generación Tradicional	Generación distribuida	Modelacion del Sistema	Fiabilidad de Energía	Mercado	Gestion de la Demanda	Micro redes (sistemas aislados)	Capacidad de Generacion	Estabilidad Transitoria	Ingreso de generación distribuida	Fallas en el Sistema	Frecuencia Estable	Incertidumbre	Capacidad de Generacion	Crecimiento de la demanda	Digsilent	Simulacion de Fallas	Matlab	Sistema Híbrido	Costos	Analisis de estabilidad	Mantenimiento	Ubicación de Fallas	Capacidad de Generacion	
20	2014	Analysis of transient overvoltage phenomena due to direct lightning strikes on wind turbine blade	\cite{Malcolm-Aggarwa2014}	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	2014	Empirical Analysis on Model and Parameters of Grid-Connected Directdriven Wind Turbine Generators in Transient Stability Computation	\cite{Ct2014}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2007	Transient stability analysis of wind turbines with induction generators considering blades and shaft flexibility	\cite{Li -Chen2007}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	2012	Load frequency control of two area interconnected power system (Diesel Generator and Solar PV) with PI and FGSPi controller	\cite{Jeddi2012}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	2016	An optimized STATCOM controller for voltage stability and reactive power compensation in an isolated micro grid	\cite{Mohanty2016}	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	2016	A comprehensive review of low-voltage-ride-through methods for fixed-speed wind power generators,	\cite{Moghadasi2016}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	2016	Dynamic modeling and control of DFIG-based wind turbines under balanced network conditions	\cite{Mehdipour2016}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CANTIDAD:				6	12	18	3	5	15	9	13	18	5	10	10	4	14	7	7	14	5	4		4	13	5	11	11

Tabla 2 Resumen e indicadores del estado del arte.

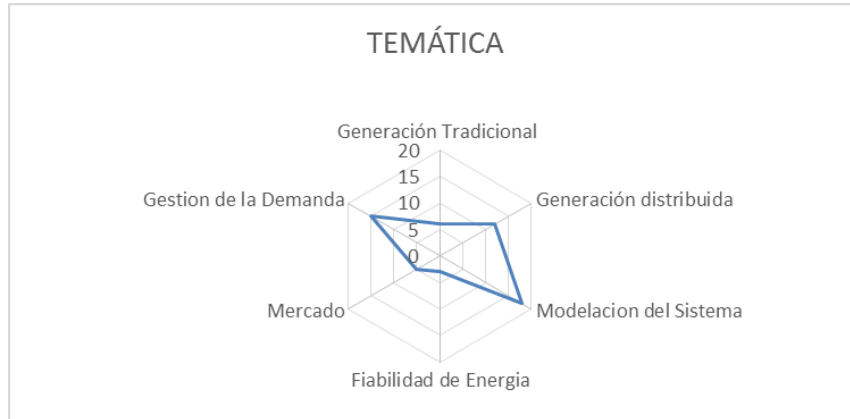


Tabla 3 Resumen para la formulación del problema.

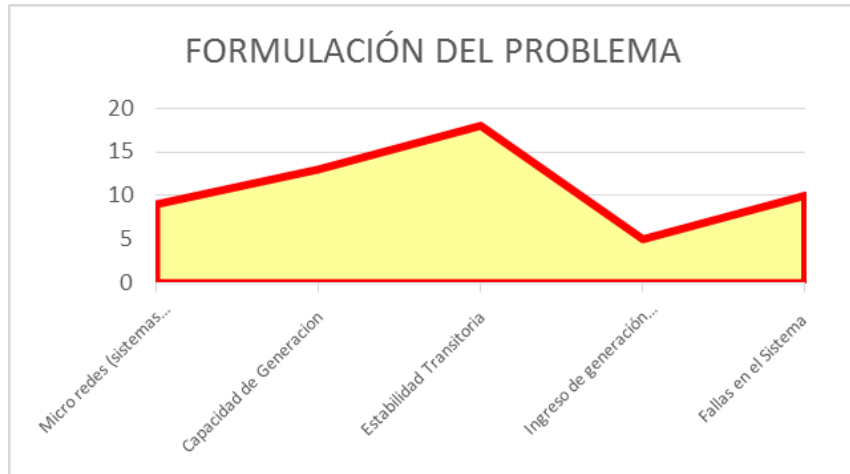


Tabla 4 Solución para el análisis del problema.

